

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 朴 南燮

本論文は「STUDY FOR LES OF TURBULENT PREMIXED COMBUSTION FLOWS BY USING DYNAMIC SUBGRID G-EQUATION FLAMELET MODELS (ダイナミックサブグリッドG方程式火炎片モデルによる乱流予混合燃焼流れのLESに関する研究)」と題して、実用燃焼器内の乱流予混合燃焼流れへの Large Eddy Simulation (LES)の適用を考慮したG方程式火炎片モデルにおけるダイナミックサブグリッド燃焼モデルの検証と開発を行い、保炎器廻りとバックステップ背後の安定化された乱流予混合燃焼流れに適用してその有効性を検討したものである。

第1章では研究の動機、背景および目的が述べられている。ここで論文提出者は、乱流予混合燃焼手法が確立されていない現状を認識し、G方程式火炎片モデルを用いたLESに着目して燃焼場におけるモデル係数を動的に決定するダイナミックサブグリッド燃焼モデルによる解析手法を確立することの重要性を指摘している。

第2章では乱流予混合における flamelet (火炎片) モデルの概念について言及するとともに、それに基づき火炎面の伝播を表すG方程式燃焼モデルについての概要が述べられている。

第3章では燃焼流れの解析における支配方程式の定式化と乱流予混合燃焼流れのLESによる定式化について論じている。乱流場の解析において、非圧縮性流れのLESにおけるサブグリッド渦粘性モデルが低 Mach 数近似をほどこした燃焼流れ解析に適用できることを指摘し、ダイナミックサブグリッドモデルの定式化を行うとともに、G方程式燃焼モデルのダイナミックサブグリッドモデルの導出過程について言及している。

第4章では、燃焼LESにおける高精度なモデルとしてダイナミックサブグリッド燃焼モデルが未だ複雑な実用燃焼場には適用されていないことに着目し、チャンネル内予混合乱流燃焼流れにおいてダイナミックサブグリッド燃焼モデルを適用して数値解析を行うことでそのモデルの有効性について検討している。その有効性については、予測された乱流火炎速度を燃焼反応速度にアレニウス型モデルを用いた Bruneaux の直接シミュレーションの計算結果と比較することで示している。この時、サブグリッドモデルに含まれるモデル係数の決定については、ダイナミックサブグリッドモデルを応用することで、LES解析手法の複雑な乱流燃焼場への適用性を高めている。従来のG方程式における研究では cusps による数値的な不安定さが問題視されたが、論文提出者は、LESにおいてはG方程式のサブグリッドフラックスが cusps 問題を抑制する効果があることを併せて確認している。第5章では、複雑な乱流予混合燃焼流れへのダイナミックサブグリッド燃焼モデルの適用可能性を広げるため、保炎器廻りの予混合燃焼流れのLES解析を行い、実験結

果との比較をすることでそのモデルの有効性を確認している。さらに、論文提出者は、Imのダイナミックサブグリッド燃焼モデルにおけるサブグリッド・スケール乱流強度のモデリングに採用されたスケール相似モデルは実用燃焼器内燃焼LESに有効ではあるが、高解像度な格子分割が必要とされることから、より普遍的な乱流火炎速度モデルの提案が望まれることを指摘している。そして、サブグリッド・スケール乱流強度を用いる代わりに層流火炎厚みとサブグリッド乱流拡散を導入して、物理的な導出がより容易な新たな乱流火炎速度モデルを提案し、さらにそのモデルの保炎器廻り予混合燃焼流れへの有効性を確認している。また、燃焼流れのLESでは、サブグリッドモデル定数値の局所性が顕著であるのでダイナミックモデルが有効であることを指摘している。

第6章では、バックステップの背後の流れにおいて安定化された乱流予混合燃焼流れに対してダイナミックサブグリッドG方程式燃焼モデルを適用して実験結果と比較することでの有効性を再確認している。

第7章では、乱流予混合火炎の構造を定量的に表わすものとして、フラクタル次元と乱流予混合火炎構造の関連性が明らかにされつつあることに着目し、LES燃焼モデルに乱流予混合火炎の持つフラクタル特性を導入した燃焼モデルを提案している。論文提出者は、乱流燃焼のLESにおいてフラクタル特性を用いる場合は格子スケール以下のフラクタル下限スケールを決定する必要がある、それに対する適正な評価はまだ存在しないことを指摘し、ダイナミックモデルの考え方をしわ状層流火炎のフラクタルモデルに導入してフラクタル下限スケールを動的に評価するダイナミックサブグリッドフラクタル火炎片モデルを提案し、保炎器廻りの予混合燃焼流れに適用することによってそのモデルの有効性を確認している。

第8章においては全体の結論が述べられている。

以上を要約すると、本研究は、提案したダイナミックサブグリッドG方程式火炎片モデルが乱流予混合燃焼LESにおいて有効であることを示している。このモデルを用いたLES解析により実用燃焼器内の乱流予混合燃焼場における流動、燃焼に関して多くの知見を与えており、工学の進展に寄与するところが大きい。したがって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる。